



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁSTROJE PRO SMYKOVÉ TLAČENÍ

TOOLS FOR SHEAR SPINNING TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MIROSLAV KANTOR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. EVA PETERKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Miroslav Kantor

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Nástroje pro smykové tlačení

v anglickém jazyce:

Tools for shear spinning technology

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o vytvoření přehledu používaných nástrojů pro ruční a strojní smykové tlačení dílců.

Cíle bakalářské práce:

Provedení průzkumu oblasti smykového tlačení a vytvoření přehledu používaných nástrojů pro strojní a ruční způsob výroby. V práci bude uveden přehled materiálů nástrojů a vhodnost jejich použití, tvary nástrojů, vedení nástrojů atd. Vše bude doplněno názornou obrázkovou dokumentací.

Seznam odborné literatury:

SAMEK, Radko a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. Speciální technologie tváření: Část I. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. 134 s. ISBN 978-80-214-4220-7.

ŽÁK, Jan, SAMEK, Radko, BUMBÁLEK, Bohumil. Speciální letecké technologie I. 1. vyd. Ediční středisko VUT Brno. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. ISBN 80-214-0128-1. s. 220.

GEIGER, M. Drückwalzen. In: K.Lange. Umformtechnik: Band 2. 2.ed. Berlin : Springer Verlag, 1988. s. 228. ISBN 3-540-17709-4.

CHEN, Ming-Der; HSU, Ray-Quan; FUH, Kuang-Hua. An analysis of force distribution in shear spinning of cone. International Journal of Mechanical Sciences. Jun 2005, vol. 47, no. 6, s. 902-921.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Eva Peterková, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 13.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

KANTOR Miroslav: Nástroje pro smykové tlačení

Problematickou předkládané práce jsou nástroje pro technologii smykového tlačení. Práce obsahuje také obecný popis principů smykového tlačení, jeho rozdělení a využití. Dále je tu zmínka o strojích používaných pro smykové tlačení. Na závěr je uvedený příklad vyráběných dílců a vlastní hodnocení zkoumané problematiky autorem.

Klíčová slova: Nástroje na smykové tlačení, smykové tlačení

ABSTRACT

KANTOR Miroslav: Tools for shear spinning technology

The issue of this bachelor's thesis are tools for shear spinning technology. The work also contains a general description of the principles of shear spinning technology, its division and use. There is also mention of the machines used for this technology. In conclusion there is an example of produced components and self-evaluation of the issues examined by the author.

Keywords: Tools for shear spinning technology, shear spinning

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KANTOR, Miroslav. *Nástroje na smykové tlačení*. Brno, 2013. 27s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 24.5.2013

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování

OBSAH

ÚVOD	9
1 SMYKOVÉ TLAČENÍ	10
1.1 Obecný úvod do smykového tlačení	10
1.2 Základní dělení technologie smykového tlačení	10
1.2.1 Ruční ovládání	10
1.2.1 Ruční ovládání	11
1.2.3 Smykové tlačení bez změny tloušťky stěny	12
1.2.4 Smykové tlačení se změnou tloušťky stěny	12
1.3 Princip smykového tlačení	13
2 NÁSTROJE	14
2.1 Nástroje pro ruční výrobu, jejich geometrie a materiály	14
2.1.1 Mazivo	17
2.2 Nástroje pro strojní výrobu, jejich geometrie a materiály	18
2.2.1 Geometrie kladek	21
2.2.2 Mazivo	22
3 STROJE	24
4 PŘEHLED TVÁŘENÝCH VÝTLAČKŮ	26
5 ZÁVĚR	27
Seznam použitých zdrojů	
Seznam obrázků	
Seznam použitých symbolů	

ÚVOD

Bakalářská práce je zaměřena na technologii smykového tlačením. Smykové tlačením, někdy nazývané též kovotlačením nebo rotační tlačením, je technologie, která v posledních letech prošla mnoha inovacemi. V současné době není možné danou technologii striktně přiřadit jako vhodnou pouze pro kusovou či malosériovou výrobu. Díky modernizaci strojů, které jsou dnes pro strojní výrobu řízené počítači, je možné dílce (výtlachy) vyrábět i ve větších sériích. Nejčastější použití smykového tlačením tak lze nalézt v leteckém, potravinářském či vojenském průmyslu. Modernizace technologie ovšem nikterak nepotlačila ruční kusovou výrobu, která má stále své nezastupitelné místo zejména v designovém průmyslu. Příklady dílců vyráběných smykovým tlačením jsou uvedeny na obr. 1.

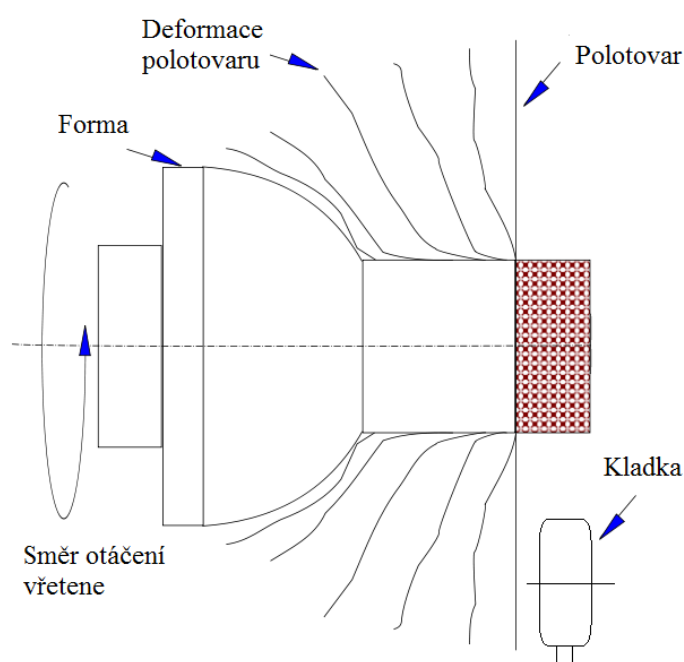


Obr. 1 Příklady vyráběných dílců smykovým tlačením [10, 14, 24, 26]

1 SMYKOVÉ TLAČENÍ

1.1 Obecný úvod do smykového tlačením [6],[19]

Smykové tlačením se dá definovat jako rotační proces tvarování polotovaru podle povrchu formy pomocí tlačného nástroje. Touto metodou lze vyrábět pouze dílce rotačního tvaru, například sférické, kuželové a parabolické. Nejbližší technologie smykovému tlačením je hluboké tažení. Smykové tlačením má výhodu oproti hlubokému tažení ve výrobě složitějších vypuklých a vydutých tvarů, které by šly hlubokým tažením obtížně vyrobit. Také má výhodu v malosériové výrobě, protože výroba tažného nástroje je mnohem dražší. Na rozdíl od hlubokého tažení lze smykovým tlačením také dosáhnout různou tloušťku stěny v různých částech pláště tvářeného výtlačku. Postup výroby výtlačku je uveden na obrázku 2, kde je zřetelně vidět jeho nabalování na nástroj a hlavní nástroje kovotlačení – formu a kladku.



Obr. 2 Postup výroby a nástroje [21]

1.2 Základní dělení technologie smykového tlačením [19]

Dva nejzákladnější typy dělení u smykového tlačením jsou: dělení podle způsobu výroby a podle způsobu tváření stěny. Dle způsobu výroby rozlišujeme strojní a ruční výrobu a podle způsobu tváření stěny rozdělujeme smykové tlačením na smykové tlačením bez změny tloušťky stěny a smykové tlačením se změnou tloušťky stěny.

1.2.1 Ruční ovládání [1], [17]

Ruční ovládání je daleko přesnější, ale na druhou stranu je podstatně dražší a méně efektivní než strojní ovládání. Menší efektivita výroby omezuje ruční ovládání pouze na použití kusové a malosériové výroby. Princip spočívá v tom, že pracovník svou vlastní silou tlačí pomocí nástroje na rotující kus kovu. Síla nesmí být příliš velká, protože by to způsobovalo štěpení a praskání kovu. Naopak působením malé síly nedojde k vytvoření požadovanému tvaru výtlačku. Proto velice záleží na zručnosti a zkušenosti pracovníka.



Z důvodu omezené síly pracovníka, vyráběné součásti většinou nepřesáhnou průměr v řádu několika decimetrů. Na obr. 3 je vidět pracovník, který vyrábí dílec o menším průměru.

Obr. 3 Dílec o menším průměru [1]

Méně používaná je ruční výroba dílců o průměru v řádu několika metrů. Z důvodu potřeby mnohem větší síly k výrobě těchto dílců se využívá síly více pracovníků. Na obr. 4 je vidět výrobu parabolické antény o průměru 3 metry. Tuto výrobu provádí 4 zaměstnanci.



Obr. 4 Výroba parabolické antény [17]

1.2.2 Strojní ovládání [11], [16]

S postupem času začalo smykové tlačení stejně jako ostatní druhy technologií využívat strojní ovládání. To postupně vytlačuje ruční výrobu. Ve větší a především velkosériové výrobě strojní ovládání vytlačilo ruční už úplně, a to především kvůli výrazně nižším nákladům na výrobu a mnohem vyšší produktivitě výroby. V dnešní době jsou různé systémy strojního ovládání, kdy je pohyb tlačného nástroje řízen například programem nebo pomocí kopírovacího zařízení. Stroje jsou vybaveny NC nebo CNC řízením. Během procesu tlačení jsou řízeny všechny důležité faktory ovlivňující výrobu dílce, jako například velikost otáček

vřetene a přítlačná síla nástroje. Na obr. 5 jsou vidět nejmodernější automatické CNC řízené stroje.

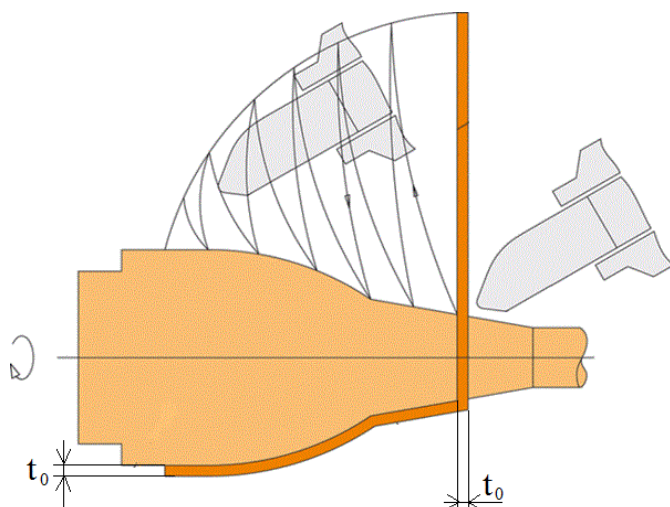


Obr. 5 CNC řízené stroje [16]

1.2.3 Smykové tlačení bez změny tloušťky stěny [1], [8]

Vyrobené výtlačky mají stejnou tloušťku stěny pláště a dna, protože nedochází k toku materiálu ve stěně výtlačku. Plochy polotovaru a konečného výtlačku se tedy rovnají. Aby to bylo splněno, nesmí se překročit maximální plastická deformace v místě působení tlačného nástroje. Tato maximální plastická deformace je omezena třemi faktory, které

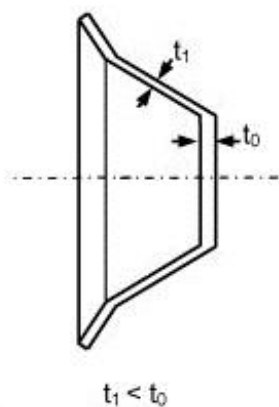
by znemožnily výrobu bez změny tloušťky stěny. Hodnota maximálního napětí nesmí být větší než napětí na mezi pevnosti materiálu, aby nevznikly trhliny na okraji příruby, trhliny v přechodu mezi přírubou a válcovou částí a vlny v přírubě. Na obr. 6 je schéma smykového tlačení bez změny tloušťky stěny tvářeného výtlačku.



Obr. 6 Smykové tlačení bez změny tloušťky stěny [21]

1.2.4 Smykové tlačení se změnou tloušťky stěny [19], [21]

Při tomto způsobu smykového tlačení dochází k úmyslnému ztenčení stěny výtlačku. Dno konečného výtlačku má stejnou tloušťku jako měl polotovar. Nejjednodušší způsob je souměrné ztenčení stěny bez jakéhokoliv jiné změny. Je však možné vyrábět výtlačky s osazením, lemy nebo postupně se ztenčující nebo zvětšující tloušťkou. V dnešní době může dojít k několikanásobné změně tloušťky stěny oproti výchozímu polotovaru a dosažená minimální tloušťka stěny může být v řádu desetin milimetrů. Většinou, pokud se nejedná o minimální změnu tloušťky, není možné vyrobit konečný dílec na jeden průjezd pracovního nástroje, ale dílec se vyrábí víceoperačně. Výchozí polotovar nemusí být nutně plech

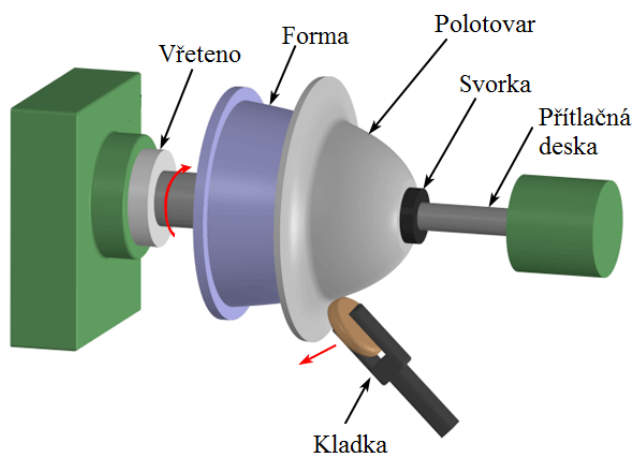


kruhového průřezu, ale může mít čtvercový tvar nebo být například předlisován či svařen. Na obr. 7 je zobrazen jednoduchý výtlaček se ztenčením stěny.

Obr. 7 Výtlaček se ztenčením stěny [20]

1.3 Princip smykového tlačení [3], [19], [23]

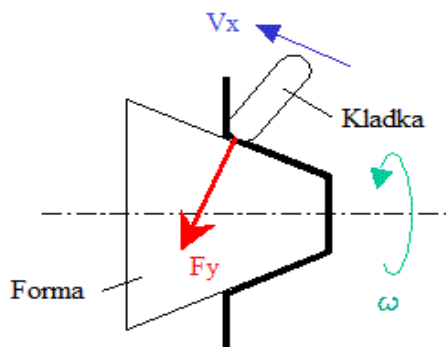
Smykové tlačení využívá kovotlačitelských strojů podobným soustruhům, kdy má kovotlačitelský stroj upravené vřeteno na kruhový průřez, aby se mohla pevněji upnout forma. Forma je většinou upnuta pevně pomocí šroubů, výjimkou je kusová výroba, kde by se pevné ale zdlouhavé upínání nevyplatilo. Na formu se z druhé strany přitlačí přitlačná deska se svorkou. Mezi formu a přitlačnou desku je vložen polotovár, který je pevně



přitlačen přitlačnou deskou k formě. Tak se díky otáčení formy otáčí současně i polotovár, a to vlivem obrovského tření na stykové ploše. Jak již bylo zmíněno dříve, jako polotovár se nejčastěji používají plechy. Občas se používá plech jiného než kruhového průřezu, ale může být také použit předlisovaný kalíšek, trubka nebo svařený polotovár. Polotovár musí mít vždy stejnou tloušťku jako požadované dno konečného výtlačku. Sestavení během výroby je na obrázku 8. Červené šipky značí směr pohybu nástroje a smysl otáčení vřetene.

Obr. 8 Sestavení při výrobě [3]

Během výroby se nástroj pohybuje ve směru vyznačené rychlosti v_x , jak ukazuje obrázek 9, až po jeho konec. Při tomto pohybu nástroj, v tomto případě kladka, tlačí silou F_y na polotovár.



Pak se většinou nástroj vrátí na začátek a proces se opakuje několikrát. Polotovár postupně dostává tvar formy, až se zcela přilepí na formu a má totožný tvar. Po dosažení požadovaného tvaru nástroj odjede pryč od výtlačku, zastaví se otáčení vřetene a následně může být vzdálená přitlačná deska od formy. Nakonec se vyrobený výtlaček stáhne z formy a může se vložit další většinou plechový polotovár a proces se opakovat.

Obr. 9 Princip smykového tlačení [23]

2 NÁSTROJE

Nástroje pro smykové tlačení se mírně liší dle toho, zda se jedná o ruční nebo strojní výrobu.

2.1 Nástroje pro ruční výrobu, jejich geometrie a materiály

U ruční výroby se využívá těchto nástrojů:

- forma,
- kladka,
- pomocné zařízení.

Většina nástrojů pro ruční výrobu má mnohem menší životnost, než nástroje pro strojní výrobu. Nižší životnost mají především formy, protože jsou v tomto případě vyráběny ze dřeva. Vyšší životnost by také byla zbytečná, protože se ruční výroba využívá především pro kusovou a malosériovou výrobu. Kladky u ruční výroby bývají většinou nerotační a bývají nazývány paličkami.

Forma [8], [12], [25]

Forma se upíná do sklíčidla stroje a pomocí sklíčidla je na ni přenášen krouťící moment od stroje. Formy se rozdělují podle použitého materiálu, a to v závislosti na počtu vyráběných kusů na formě.

Pro ruční výrobu v přibližném rozmezí 1-10 vyráběných kusů se používá dřevěná forma. Dřevěná forma je mnohem levnější a nejsnadněji se vyrábí. Tomu však odpovídá i její malá pevnost a schopnost si zachovat tvar. Proto se tedy dřevěné formy využívají jen pro kusovou výrobu. Postup výroby spočívá v tom, že se na sebe naskládají jednotlivé dřevěné pláty o tloušťce 20-100 milimetrů. Tloušťka jednotlivých plátů závisí na složitosti vyráběného tvaru formy. Následně dojde k jejímu obrobení na požadovaný tvar. Tvar formy se musí důkladně zkontrolovat, aby pak nedocházelo ke zmetkové výrobě výtlačků. Ke kontrole vyrobených

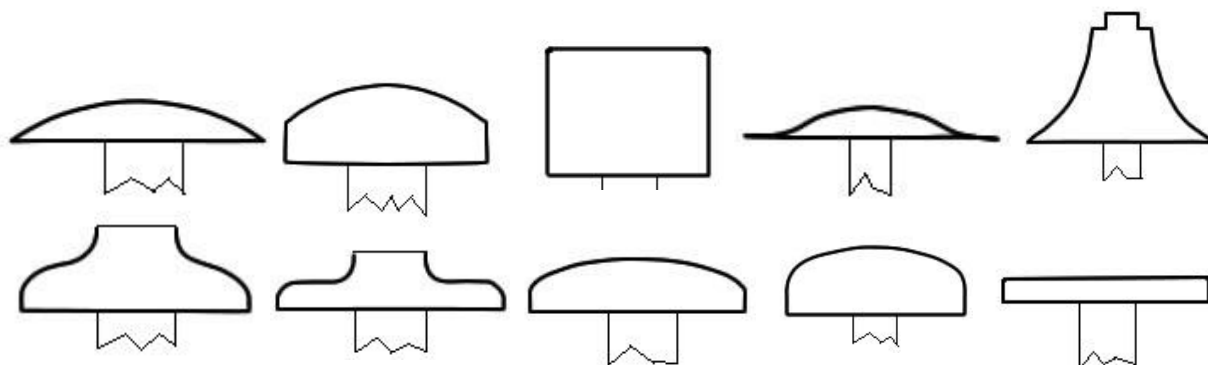
forem slouží přesné šablony odpovídajícího tvaru. Následně se dřevo nalakuje. Po zaschnutí je forma připravena k použití. K výrobě dřevěných forem se většinou využívá tvrdé dřevo jako dub nebo javor. Na obr. 10 je vidět názorná ukázka výroby dubové formy jednoduchého kuželového tvaru.



Obr. 10 Výroba dubové formy [25]

Pokud je nutné vyrábět více kusů, musí se místo dřevěné formy použít forma litinová nebo ocelová.

Povrchová křivka formy odpovídá tvaru konečného dílce. Podle složitosti tvaru formy se volí její výroba. Formy se v dřívě většině obrábějí na soustruhu nebo CNC strojích. Pokud se jedná o tvar kuželový, sférický nebo o tvar, kde nedochází ke zmenšování průřezu a následnému zvětšování, pak se jedná o tzv. jednoduchý tvar. Které tvary patří mezi jednoduché, je schematicky uvedeno na obr. 11.



Obr. 11 Jednoduché tvary forem [12]



Obr. 12 Příklady jednoduchých forem [8]

U těchto jednoduchých tvarů výtlačků se používají jednoduché nedělené formy. Použití dělených forem je v tomto případě zcela výjimečné a zbytečné. Jednoduché formy se dají vyrobit poměrně velice jednoduše, právě pro jejich geometrickou nenáročnost. Na obr. 12 je vidět příklady těchto forem.

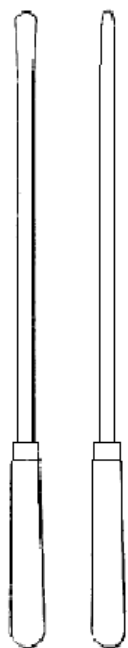
Na rozdíl od jednoduchých tvarů výrobku, kde se nemusí použít dělené formy, tak u složitých tvarů a především u tvarů, kde dochází ke zmenšování průřezu a následnému zvětšování, se musí použít dělené formy. Pokud by se při výrobě takových dílců nepoužily dělené formy, nebylo by možné hotový výtlaček z formy sundat dolů. Formy mohou být dělené jednou, dvakrát či několikanásobně. Konstrukce formy závisí na tom, jak moc složitý tvar výtlačku se na ni bude vyrábět. V místě dělení je forma opatřena čepem, který se nasune do druhé části, aby nedocházelo k rozdělení formy. Ve většině případů je čep opatřen závitem, pro zvýšení bezpečnosti proti vysunutí při tváření. Takto vybavenou formu se závitem lze vidět na obrázku 13.



Obr. 13 Dělená forma [14]

Kladka [13], [19]

Rotační kladka upevněna na tyči se u ruční výroby používá zřídka. Mnohem častěji se používají spíše tzv. paličky. Paličky se nejčastěji vyrábějí z oceli. Dříve, zejména pro počáteční fázi tvarování se používaly i paličky dřevěné (ořechové či javorové dřevo). Pro zpracování duralových plechů či plechů z nerezových ocelí se používají paličky z bronzu. Paličky jsou umístěny na dlouhém dřevěném nadstavci, který má dělník v podpaží, aby při tváření mohl využít sílu celého těla a zároveň měl volné ruce. Volné ruce může využít buď k nanášení maziva na povrch tvářeného dílce, nebo k manipulaci s pomocnými zařízeními.



Obr. 14 Ovčí nos [19]

Výroba a s tím související cena paliček je mnohem menší než u kladek rotačních určených pro strojní výrobu. Paličky mají svou funkční část přizpůsobenou druhu operace, kterou je možné na kovotlačitelských strojích uplatnit. Mohou být tedy paličky pro klasické tlačení nebo hlazení, upichování atd. Příklady různých typů paliček jsou uvedeny na obr. 16. Primárně používaná nerotační palička je takzvaný ovčí nos, který se používá pro většinu času během tváření. Jeho tvar umožňuje nejideálnější tváření stálého průměru, klesajícího průměru nebo na jakéhokoliv zaoblení a rádius. Ovčí nos jsou vidět na obr. 14. Pro dokončovací operace se používá nejčastěji takzvaný kachní zobák. Jeho využití je především na neměnné průměry, ale dá se výjimečně využít pro zaoblené tvary. Kachní zobák je schematicky zobrazen na obr. 15. Výše zmiňované obrázky vždy zobrazují pohled zepředu na paličku a vedle je pohled z boku.



Obr. 15 Kachní zobák [19]



Obr. 16 Příklady typů paliček [13]

Po dokončení tvarování dílce se k odříznutí přebytečného materiálu používá odřezávací palička, která je opatřena břitem.

Základní deska [2], [13]



Základní deska patří mezi pomocná zařízení a může být dle potřeby libovolně dlouhá a široká. Jsou v ní umístěny otvory pro kolík. Většinou jsou otvory buď v jedné, dvou nebo třech řadách. Do otvoru se umístí kolík, o který se při tváření zapře palička. Při tváření se postupně kolík posouvá stejným směrem jako postupuje tváření dílce, což umožňuje snadnější tváření dílce. Základní deska, stejně jako kolík, se vyrábí z levnějších konstrukčních ocelí. Vlevo na obr. 17 lze vidět jednořadou základní desku a vpravo dvouřadou základní desku.

Obr. 17 Jedno a dvouřadá základní deska [2]

Pomocná tyč [7], [13]



Dalším pomocným zařízením je pomocná tyč, která má na obou stranách kolík. Jeden kolík slouží k upevnění pomocné tyče v základní desce a druhý kolík k upevnění kladky. Tím se získá větší možnost nastavení kladky vůči obráběnému dílci, což velice usnadňuje práci. Sestavení pomocné tyče mezi základní desku a kladku je uvedeno na obr. 18.

Obr. 18. Sestavení pomocné tyče [7]

2.1.1 Mazivo [9], [15]

Při ruční výrobě není úplně nutné použití maziva a v některých případech se nepoužívá vůbec. Použitím maziva při vytváření výtlačku se dosáhne podstatně kvalitnějšího povrchu, vyšší geometrické přesnosti a bude také zvýšená trvanlivost nástroje. Při ruční výrobě se jako mazivo používá téměř cokoliv, co se najde doma a čím se usnadní výroba. Jedna z možných používaných maziv je tuk. Tuk sice dobře drží na povrchu tvářeného dílce, ale hůř se rozstírá. Navíc je velice obtížné udělat na výtlačku tukový film se stejnou tloušťkou po celém výtlačku. Při obrábění hliníku se velice často používá kuchyňských prostředků na mytí nádobí. Jelikož se jedná o tekuté prostředky, velice snadno se nanáší, ale stejně tak snadno skapávají z výtlačku pryč. Používá se také převodový olej, který se dobře nanáší a poměrně

dobře drží na výtlačku. Jeho velkou nevýhodou ovšem je, že při tváření zapáchá. Po dokončení tváření se používá odstraňovač mazání, aby povrch výtlačku nebyl mastný.

2.2 Nástroje pro strojní výrobu, jejich geometrie a materiály

U strojní výroby se využívá těchto nástrojů:

- forma,
- kladka.

Jelikož se strojní výroba využívá především u sériové a velkosériové výroby, vyrábějí se formy z kvalitnějších materiálů. Formy mají sice větší cenu, ale vyrobí se na nich více kusů a vložené náklady se tedy vrátí. Kladky se u strojní výroby využívají pouze rotační. V dnešní době se využívá celá řada moderních materiálů, aby byla prodloužena životnost kladky. U strojní výroby je téměř nezbytné použití maziva.

Forma

Pro malosériovou výrobu v rozmezí 10-100 vyráběných kusů se většinou využívá šedá litina, která má větší pevnost a schopnost zachovat si tvar než dřevo. Náklady na výrobu jsou ovšem výrazně vyšší.

U středně velké sériové výroby 100-250 vyráběných kusů se nejčastěji používá litá ocel. V místech největšího otěru je forma zakalena ke zvýšení otěruvzdornosti.

Vysoce sériová výroba využívá slitiny oceli. Ovšem aby na nich bylo možné vyrábět velké množství výrobku, je nutné je kalit a popouštět.

Tvar forem pro strojní tváření se nijak neliší od tvaru forem pro ruční výrobu.

Kladka[4], [5], [9], [18]

Kvůli úspoře finančních prostředků se kladka skládá ze dvou částí. První část je vnější prstenec, který je z kvalitního materiálu. Druhá část je vnitřní disk většinou z konstrukční oceli, která má mnohem menší cenu než vnější prstenec. Disk je do prstence nalisován s velkým přesahem, aby nedošlo k jeho uvolnění. Na vnitřním disku jsou ložiska, která přenášejí kroutící moment. Z druhé strany ložisek je tyč, která je upevněna ve stroji. Většinou se používají dvě až tři kladky s cílem zamezit průhybu formy. Kladky se nacházejí v protilehlé poloze a velice často bývají v osovému směru formy přesazeny proti sobě v rozmezí 1-3 milimetry. Na obr. 19 je vidět uspořádání kladky.



Obr. 19 Kladka [5]

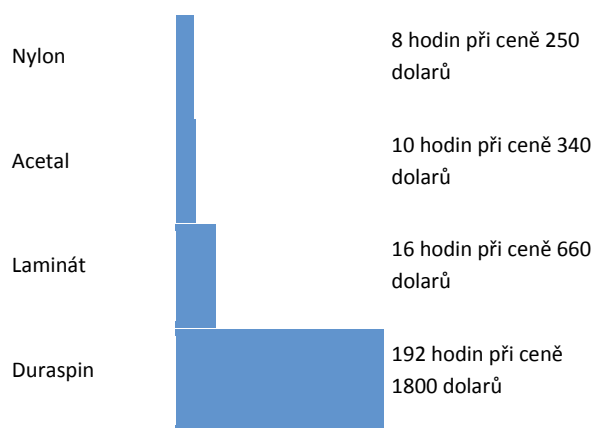
Vnější prstenec má nejčastěji tloušťku v rozmezí 50-120 milimetrů. Zatím stále nejpoužívanějším materiálem pro vnější prstenec zůstává ocel. Ocel se však musí kalit a popouštět na tvrdost 60-65 HRC. Ovšem z hlediska ceny a životnosti nástroje si ocel moc



dobře nestojí. V dnešní době se ocel nahrazuje jinými materiály, s lepšími vlastnostmi nebo nižší cenou. Příklad ocelové kladky lze vidět na obr. 20.

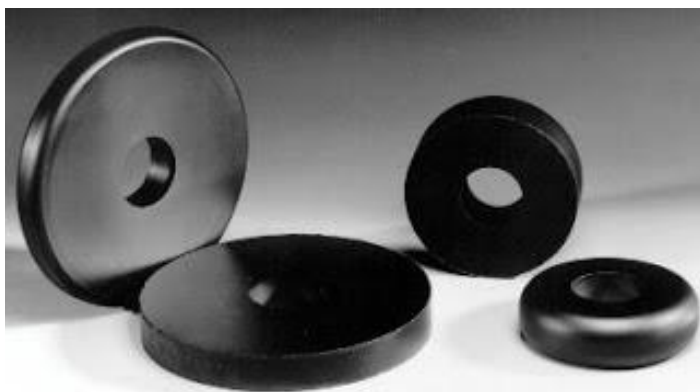
Obr. 20 Ocelová kladka [9]

V současné době se na trh dostávají kladky vyráběné z méně známých materiálů jako je například duraspin a acetal. Užití těchto materiálu není nejlevnější záležitostí, ale pokud je vzata v potaz doba, kterou nástroj vydrží, tak se investice mnohonásobně vyplatí, obzvláště při srovnání z oceli. Na obr. 21 je graf porovnávající ceny a životnost méně známých materiálů, které udává firma ACI Plastics.



Obr. 21 Životnost a cena materiálů [14]

Duraspin je materiál s mimořádně vysokou pevností v tlaku a odolností proti opotřebení. Americká firma Metalspinningstore uvádí životnost nástroje z duraspinu dokonce 192 hodin, které udává firma ACI Plastics. Duraspin si při zvýšených teplotách udržuje vynikající pevnost a tuhost. Může se používat až do teplot 450°C. Na obr. 22 je ukázka duraspinových kladek.



Obr. 22 Kladky z duraspinu [9]

Další materiál, který firma CSI Plastics začala používat pro výrobu kladek pro smykové tlačení je gesadur. Gesadur je laminátový materiál, vhodný pro velké tvářecí síly. Má výraznou žlutou barvu, která pod UV zářením ztmavne, ale jeho vlastnosti se nezmění. Velice snadno se zpracovává a má velkou kvalitu povrchu. Má rozměrovou stabilitu i při vyšších teplotách. Pro malou hustotu je tento materiál velice lehký. Na obr. 23 je vidět kladku z gesaduru.



Obr. 23 Kladka z gesaduru [18]



Dalším materiálem, který se používá na výrobu kladek, je acetal. Acetal patří k levnějším materiálům než předchozí materiály. Jeho životnost je přibližně 10 pracovních hodin. Má poměrně vysokou pevnost a tuhost i vyšší rozměrovou stálost než má například ocel. Acetal oproti jiným materiálům má nízký koeficient tření. Je odolný vůči otěru a opotřebení. Ukázka kladek z acetalu je na obr. 24.

Obr. 24 Kladky z acetalu [9]

Další speciální materiál, který se používá na výrobu kladek, je D2. Tato slitina je tvářená za studena nebo kována za zvýšených teplot. Má velký obsah uhlíku. Kladky jsou vysoce kaleny a chlazeny na vzduchu, aby měly co nejmenší deformace po tepelném zpracování. Následně se žíhají. D2 se vyznačuje velkou odolností vůči opotřebení, ale nízkou houževnatostí. Na obr. 25 jsou kladky z materiálu D2.



Obr. 25 Kladky z materiálu D2 [4]

Další speciální materiál, který se používá na výrobu kladek, je M2. Tento materiál se používá především na řezné nástroje, ale v dnešní době se z něho vyrábějí i tvářecí nástroje. Jedná se o vysokorychlostní slitinu, která má jemnozrnnou strukturu. Slitina nepodléhá stárnutí. Má vysoký obsah wolframu a molybdenu, proto má vysokou pevnost a velkou odolnost vůči opotřebení. Většinou se kladky kalí a následně ochlazují buď v oleji nebo solné lázni. Opět se musí vyžít. Materiál není odolný vůči korozi, proto se musí dát pozor na jeho skladování.

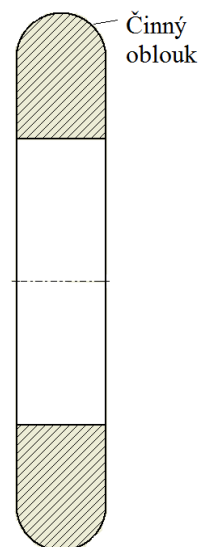
Pro výrobu kladek se ještě využívá i materiál M4, který má vysoký obsah molybdenu, ale má také vysoký obsah uhlíku. Má stejné zpracování jako předešlý materiál M2, ale o něco lepší mechanické a pevnostní vlastnosti. Jeho nevýhodou, ale může být ještě nižší houževnatost než u M2.

V dnešní době se zkouší kladky vyrábět ještě z mnoha dalších materiálů, jsou to například bronzy, keramiky a nylon, kde nylon je syntetický polymer, který se snadno vyrábí, ale má malou teplotu tání a jeho životnost se pohybuje okolo 8 hodin.

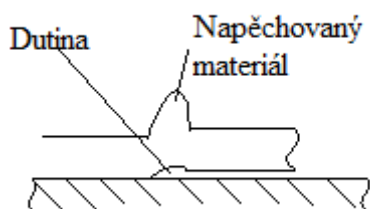
2.2.1 Geometrie kladek [6], [19]

Geometrie a rozměry rotačních kladek jsou voleny vždy podle průměru tvářeného dílce, typu zařízení a velikost úběru. Podle všech těchto ohledů mohou být průměry kladek v rozmezí pár desítek milimetrů až po několik stovek milimetrů. Nejčastější průměr kladek je v rozmezí 250 až 500 milimetrů. Ideální šířka kladky k tomuto rozsahu průměrů je 50 až 80 milimetrů.

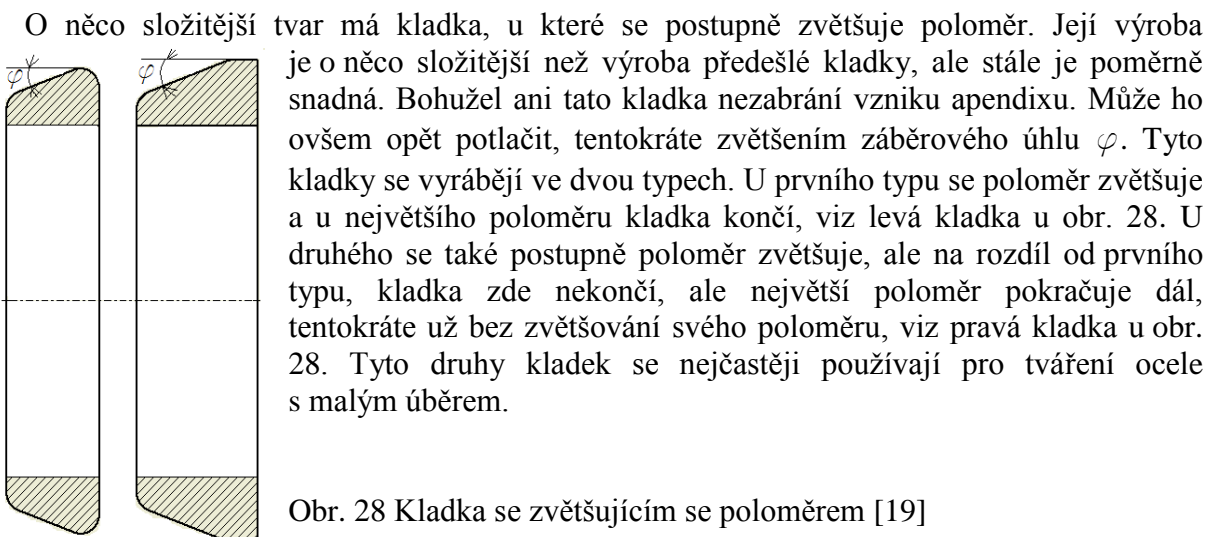
Nejjednodušší tvar kladky je vidět na obr. 26. Tento typ kladky je vhodný zejména pro tváření hliníku. Velice snadno se vyrábí, ale tvářený dílec pomocí této kladky nemusí získat požadovaný tvar a povrchové vlastnosti. Tento tvar kladky nejvíce podporuje vznik vlny neboli appendixu. Tvorbu vlny je vidět na obr. 27. Vlna se vytváří ve volném prostoru před kladkou. Zabránit nebo alespoň omezit tento efekt lze zvětšením poloměru činného oblouku kladky. Tím se zvětší styková plocha a tím i tok materiálu v obvodovém směru. Zvětšením činného poloměru oblouku však také bude dosaženo nežádoucího efektu a to, že se tvářený dílec bude odlepovat a uvolňovat od formy.



Obr. 26 Jednoduchý tvar kladky [19]

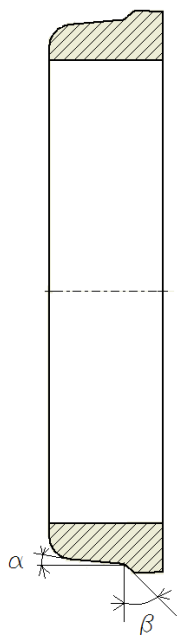


Obr. 27 Vlna [19]



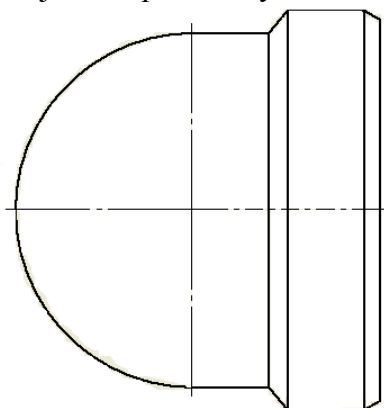
Obr. 28 Kladka se zvětšujícím se poloměrem [19]

Ještě pracnější je výroba kladky, která má dvojitý náběhový úhel. Tato kladka vznik vlny omezuje. Náběhový úhel β (pracovní úhel) je mnohem větší než úhel α . Ve většině případů je náběhový úhel okolo 20° . Čím je náběhový úhel menší, tím je menší styková plocha i nižší tok materiálu v obvodovém směru. Úhel α bývá v řádu několika stupňů. Obecně platí, že čím menší je úhel α , tím je menší volný prostor před kladkou. Nejčastěji se úhel α pohybuje okolo 2° . Tento typ kladek se používá k tváření kvalitnějších materiálů než je hliník a ocel, například titan a jeho slitiny. Kladka se dvěma náběhovými úhly je na obr. 29.



Obr. 29 Kladka s dvojitým náběhovým úhlem [99]

Nejméně používaný tvar kladky je tvarovací kladka s redukováním. Výroba oproti předešlým typům je nejsložitější. Přední polokulový úsek kladky slouží k tvarování dílce. Zároveň potlačuje vznik vln a potlačuje vznik přeložek. Zádňí část kladky slouží k redukování tvářeného dílce. Tento typ kladky je vhodný pro tvarování a redukování válcových dílců, které měly jako polotovar rondel plechu (přístřih). Tuto kombinovanou kladku lze vidět na obr. 30.



Obr. 30 Kombinovaná kladka [19]

2.2.2 Mazivo [9], [15]

Při strojní výrobě je použití maziva důležité. Rozeznávají se dva druhy maziv podle důvodu použití. První důvod použití je samozřejmě mazání, které usnadňuje výrobu a zvyšuje kvalitu povrchu výtlačku. Druhý důvod použití maziva je chlazení. Strojní tlačené pracuje při vyšších otáčkách včetně i při vyšší posuvové rychlosti než je tomu u ručního. Dochází zde tedy k většímu zahřívání jak výtlačku, tak i nástroje. Z toho důvodu se musí použít mazivo, v tomto případě tedy spíše chladivo, které zabrání porušení výtlačku a snížení životnosti kladky. Maziva jsou v tužším stavu a nanášejí se před tlačením. Při nanášení mazivového filmu se klade důraz, aby po celé ploše výtlačku byl stejně tlustý mazivový film. Jako maziva se používají různé tuky, gely, vosky a mýdla. Po dokončení tlačené musí být zbytky maziva odstraněny z výtlačku. Některé přípravky jsou přizpůsobeny tak, že stačí k odstranění



opláchnout vodou. Jiné se musí složitěji odstraňovat pomocí odstraňovačů maziva. Na obr. 31 je vosk používaný při strojní výrobě.

Obr. 31 Používaný vosk [15]

Maziva, která se používají především z důvodu chlazení jsou v tekutějším stavu a na výtlaček se nenanášejí před tlačáním, ale jsou pomocí chladicího systému, který je na stroji umístěn, nanášeny během tlačení. Mazivo se zde nanáší nejen na výtlaček, ale i na nástroj. Tímto způsobem je odváděno teplo z výtlačku i nástroje. Po dokončení tlačení se musí pozůstatky maziva odstranit stejně jako u tuhých maziv. V tomhle případě stačí opláchnout ve vodě.

3 STROJE [11], [16]

Uplatnění smykového tlacení zaznamenalo po zavedení strojní výroby velký nárůst. Modernizace strojů především urychlila celkový výrobní čas jednotlivých dílců, a to zejména díky rychlé manipulaci s polotovarem a dílci a bleskovému upínání ve stroji. Navíc díky CNC řízené výrobě lze vyrábět výtlačky, které by pomocí ruční výroby byly velmi obtížně vyrobitelné. Jedná se o výtlačky se složitým tvarem nebo výtlačky s větší tloušťkou stěny. Dnešní stroje jsou schopny vytvářet výtlačky o průměru až 4 metry. Při tlacení za studena jsou stroje schopny vytvářet dílce o tloušťce 25 milimetrů a při tlacení za tepla až 140 milimetrů.

Jeden z velice často používaných strojů v dnešní době je MJC SP-3230 od firmy Global Metal Spinning Solutions. Je to jeden ze základních typů. Jedná se o CNC řízený stroj. Stroj může vytvářet dílce o maximálním průměru polotovaru 800 milimetrů a jeho maximální otáčky jsou 400 během jedné minuty. Kladka se může pohybovat s maximální rychlostí 9000 mm za minutu. Přítlačná síla kladky je 22 000 N. Ve stroji je zabudovaný hydraulický systém. Tento stroj je vidět na obr. 32 je tento stroj.



Obr. 32 Stroj MJC SP-3230 [16]



Obr. 33 Stroj SP-72.100 [16]

Další stroj je SP-72.100. Stroj je řízen pomocí CNC programů. Může tvářet dílce, jejichž polotovar má maximálně průměr 900 mm. Jeho maximální otáčky jsou přibližně stejné, akorát má tento stroj asi o jednu třetinu nižší maximální rychlost kladky. Kladka může působit silou na výtlaček až 43 000 N. Tento stroj je vidět na obr. 33.

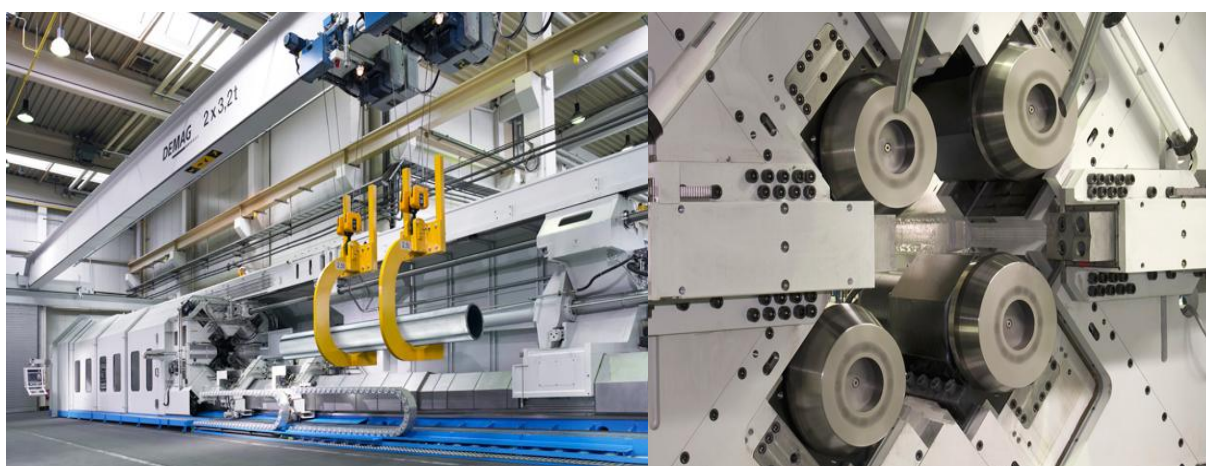
O něco speciálnější stroj je MJC SP-78.200-3. Jedná se o velký typ stroje pro tváření výtlačku o větším průměru. Mohou se zde tvářet výtlačky až o maximálním průměru polotovaru 1828 mm. Stroj je znovu řízen pomocí CNC programů. Tento stroj může

být na rozdíl od předešlých řízen na dálku pomocí joysticku. Maximální otáčky vřetene jsou 300 otáček za minutu. Kladka může působit silou až 340 000 N. Tento stroj se využívá především na výrobu satelitů a podobně velkých výtlačků. Stroj je na obr. 34.



Obr. 34 Stroj MJC SP-78.200-3 [16]

Největší kovotlačitelský CNC stroj je ST 650 H 9100. Dokáže vytvářet kvalitní výtlačky. Má velice flexibilní výrobu pro různé aplikace, ale jeho hlavní využití je v oblasti výroby trubek. Tento stroj dokáže tvářet trubky v dopředném směru o velikosti 9 metrů a protiběžném až 13 metrů. Vyráběné výtlačky jsou v rozmezí 30-680 mm. Stroj při své velikosti dokáže pracovat s velmi vysokou přesností. Je schopen vyrábět výtlačky až do hmotnosti 4 tuny. Na rozdíl od ostatních strojů využívá čtyři kladky. Stroj a jeho uspořádání kladek je na obr. 35.



Obr. 35 Stroj ST 650 H 9100 [11]

4 PŘEHLED TVÁŘENÝCH VÝTLAČKŮ [10], [14], [22], [24], [26]

Dnes jsou vidět výtlačky vyráběny smykovým tlačáním kdekoliv, ať už se jedná o dekorativní výtlačky nebo přední části letadel.

Mezi výrobně jednoduché patří většina dekorativních předmětů, hrnce, nádoby, kbelíky, stínítka světel a lamp, zahradní svítlny, vázy, misky konce trumpet, sítko a mnoho dalších podobných věcí. Příklady jednodušších výtlačků jsou na obr. 36.



Obr. 36 Přehled výtlačků [10, 14, 22, 26]

Nejznámější použití smykového tlačení je v automobilním, leteckém a chemickém průmyslu. V leteckém jsou takto vyráběny přední části letadel, špičky turbín a vojenské rakety. V automobilním jsou to pístní kroužky a ráfky kol. V chemickém různé tlakové nádoby. Příklady těchto dílců jsou uvedeny na obr. 37.



Obr. 37 Přehled výtlačků [10, 14, 24]

5 ZÁVĚR

Bakalářská práce je zaměřena na nástroje pro smykové tlačené. Je zde vytvořen přehled používaných nástrojů pro ruční a strojní výrobu a uvedeny jejich tvary a používané materiály.

V minulosti byla technologie smykového tlačené používána pouze pro kusovou výrobu. V průběhu času se technologie zdokonalila a její uplatnění rapidně narostlo, a to zejména z toho důvodu, že lze touto metodou vyrábět dílce komplikovaných tvarů, u nichž by se výroba konvenčními způsoby nevyplatila či by nebyla možná. V současné době se technologie smykového tlačené využívá pro malosériovou či hromadnou výrobu, a to hlavně díky zdokonalení strojní výroby.

V budoucnu se dá očekávat, že tato technologie bude ještě používanější než je dnes. Alespoň nám to naznačují firmy, které se touto metodou zabývají. V posledních letech zavedly v technologii smykového tlačené spoustu nových materiálů, ze kterých se vyrábějí nástroje. Nové materiály zvyšují jejich životnost, zlepšují povrch tvářených dílců a umožňují vytlačet dílce o větší tloušťce než tomu bylo dříve. Ovšem hlavním důvodem, proč by měla technologie dále expandovat je zavádění nových strojů. Nové stroje zkracují výrobní čas a zpřesňují výrobu. Na trhu se objevují speciální nástroje, které dokáží vyrábět dílce velmi komplikovaných tvarů i velkých rozměrů. Na závěr by se dalo konstatovat, že smykové tlačené má pevné místo ve strojírenské výrobě a jeho uplatnění bude stále více rozvíjeno.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Artec3d: Services* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://artec3d.com/sections/services/>
2. *Brazier Metal Spinners Ltd: Metal Spinner, Producing a Quality Lighting Reflector at Brazier Metal Spinners Ltd* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.braziermetalspinners.co.uk/process.html>
3. *Custompartnet: Sheet Metal Forming* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>
4. *Dmsdesignco: Metal Spinning Tools* [online]. 2011 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.dmsdesignco.com/index.php?p=1_7_Metal-Spinning-Equipment
5. *Doogycrations: homemade roller for metal spinning* [online]. 8.7.2011 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://doogycrations.webs.com/apps/photos/photo?photoid=130967152>
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
7. *Earlcpowell: New Metal Spinning Tools received from May Tool Inc.* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://earlcpowell.blogspot.cz/2010/11/new-metal-spinning-tools-received-from.html>
8. *Flickr: Metal Spinning = "Tools"* [online]. 2011 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.flickr.com/photos/kramerdesignstudio/6131538100/>
9. *Globalmetalspinning: Metal Spinning Tooling and Rollers* [online]. Monday, January 10, 2011 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://globalmetalspinning.blogspot.cz/2011/01/metal-spinning-tooling-and-rollers.html>
10. *Indiamart: Spinning Products* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.indiamart.com/vibhuti-steels/spinning-products.html>
11. *Leifeldms: Machines & Technologies* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.leifeldms.de/en/machines-technology/new-machines/st-series/st-650-h-9100-4rs.html>
12. *Metalcraftspinning: Metal Spinning* [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://metalcraftspinning.com/spinning.php>
13. *Metalllostanki: Сфера применения, принцип работы и виды давяльно-раскатных станков (ротационная вытяжка)* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.metalllostanki.ru/product-650.html>
14. *Metalspinningstore: Roller Tools for Metal Spinning* [online]. 2010 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://metalspinningstore.com/product-details.php>
15. *Metalspinningworkshop: Other essential tools for metal spinning* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://metalspinningworkshop.com/Other_Items.html
16. *Mjceengineering: Spinning Machines* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.mjceengineering.com/machines/spinning-machines/mjc-sp-72-100>
17. NAMI, Hotehama. *Nippon.com: Masters of Precision Metal Spinning* [online]. 2011.10.14. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.nippon.com/en/features/c00601/>
18. *Sachsenroeder: Drückrollen aus GESADUR* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.sachsenroeder.com/gesadur-anwendungsgebiete-drueckrollen.php>
19. SAMEK, Radko a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 134 s. ISBN 978-80-214-4220-7.

20. *Sciencedirect: Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2009 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013609003094>
21. *SMF: Spinning / Shear forming* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: 1. <http://www.s-m-f.de/en/startseite/spinning.html>
22. *Spinning-tops: Spinning Tops* [online]. 2010 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.spinning-tops.co.uk/wp-content/uploads/The-Metal-Spinning-Top-from-Inception1-resized.jpg>
23. *Staff.aist: Metal Spinning Using Force Feedback Control* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://staff.aist.go.jp/h.arai/forcespin_e.html
24. *Stuba: Katedra tepelnej energetiky* [online]. 17.02.2009 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.sjf.stuba.sk/sk/oddelenia/katedra-tepelnej-energetiky.html?page_id=2318
25. *Woodenpropeller: Propeller Spinner-Metal Spinning* [online]. Jan 2011 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.woodenpropeller.com/forumvB/showthread.php?t=1654>
26. *Wordpress: Why Choose Metal Spinning?* [online]. December 21, 2011 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://helandermetal.files.wordpress.com/2011/12/cnc-spinning04-large.jpg>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Příklady vyráběných dílců smykovým tlačáním	9
Obr. 2	Postup výroby a nástroje	10
Obr. 3	Dílec o menším průměru	11
Obr. 4	Výroba parabolické antény	11
Obr. 5	CNC řízené stroje	12
Obr. 6	Smykové tlačení bez změny tloušťky stěny	12
Obr. 7	Výtlaček se ztenčením	13
Obr. 8	Sestavení při výrobě	13
Obr. 9	Princip smykového tlačení	13
Obr. 10	Výroba dubové formy	14
Obr. 11	Jednoduché tvary forem	15
Obr. 12	Příklady jednoduchých forem	15
Obr. 13	Dělená forma	15
Obr. 14	Ovčí nos	16
Obr. 15	Kachní zobák	16
Obr. 16	Příklady typů paliček	16
Obr. 17	Jedno a dvouřadá základní deska	17
Obr. 18	Sestavení pomocné tyče	17
Obr. 19	Kladka	18
Obr. 20	Ocelová kladka	19
Obr. 21	Životnost a cena materiálů	19
Obr. 22	Kladky z duraspinu	19
Obr. 23	Kladka z gesaduru	20
Obr. 24	Kladky z acetalu	20
Obr. 25	Kladky z materiálu D2	20
Obr. 26	Jednoduchý tvar kladky	21
Obr. 27	Vlna	21
Obr. 28	Kladka se zvětšujícím se poloměrem	21
Obr. 29	Kladka s dvojitým náběhovým úhlem	22
Obr. 30	Kombinovaná kladka	22
Obr. 31	Používaný vosk	23
Obr. 32	Stroj MJC SP-3230	24
Obr. 33	Stroj SP-72.100	24
Obr. 34	Stroj MJC SP-78.200-3	25
Obr. 35	Stroj ST 650 H 9100	25
Obr. 36	Přehled výtlačků	26
Obr. 37	Přehled výtlačků	26

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

F_y	Síla od kladky	[N]
t_o	Počáteční tloušťka	[mm]
t_1	Tloušťka po tváření	[mm]
v_x	Posuvová rychlost	[m*s ⁻¹]

α	První náběhový úhel	[°]
β	Druhý náběhový úhel	[°]
φ	Záběrový úhel	[°]
ω	Otáčky	[s ⁻¹]